

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной и
инновационной работе

ФГБОУ ВО «УГНТУ»,

д.т.н., профессор

Ибрагимов И.Г.



2024 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» на диссертационную работу **Сулеймановой Малики Джалилевны** «Численное исследование температурного поля в неоднородных средах при двухфазной фильтрации с учетом термодинамических эффектов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14. Теплофизика и теоретическая теплотехника.

В диссертационной работе Сулеймановой М.Д. представлены результаты исследований нестационарного температурного поля при однофазной и двухфазной фильтрации нефти и воды в неоднородном по проницаемости пласте с учетом термодинамических эффектов в двумерной постановке.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы из 128 источников, 52 рисунков и 3 таблиц.

Во введении приведены обоснование актуальности исследования выбранной темы и степень разработанности темы, сформулированы цели и задачи. Раскрыта практическая значимость результатов работы, показана научная новизна, личный

вклад автора в получении результатов работы, сведения о публикациях и структуре работы. А также изложены основные результаты, выносимые на защиту.

В первой главе проведен аналитический обзор работ по исследованию неоднородностей в строении пласта и призабойной зоны, приводится описание типа неоднородностей. В обзоре приводится современное состояние исследований в области моделирования неізотермической многофазной фильтрации в неоднородных средах, основные подходы к моделированию фильтрации флюидов в таких средах, основные закономерности формирования термогидродинамических процессов. Анализ работ показал, что малоизученным остается вопрос формирования температурного поля в неоднородных по проницаемости пластах как в радиально-азимутальном, так и радиально-слоисто вертикальном направлениях с учетом термодинамических эффектов при многофазной фильтрации.

Вторая глава посвящена разработке математических моделей неізотермической фильтрации однофазного и двухфазного потока нефти и воды в пласте при наличии радиально-азимутальной и радиально-слоистой неоднородности по проницаемости с учетом термодинамических эффектов. Получены численные решения системы уравнений, проведен анализ сеточной сходимости и устойчивости решения, проведено тестирование полученных численных решений и их сравнение с известными аналитическими решениями, произведено сравнение результатов с результатами, полученными коммерческим симулятором.

В третьей главе приведены результаты многовариантных расчетов особенностей формирования температурного поля для различных соотношений проницаемости однородной и неоднородных зон, начальной водонасыщенности пласта, размеров неоднородной зоны. Результатами расчетов показано, что наблюдается немонотонная зависимость изменения температуры напротив зоны неоднородности во времени от угла охвата области неоднородной зоны, увеличение проницаемости неоднородной зоны приводит к снижению температурных аномалий.

Показано, что наличие неоднородности в прискважинной зоне пласта приводит к возникновению немонотонного углового и радиального распределений температуры и насыщенностей фаз. В зависимости от соотношения проницаемостей пласта и участка неоднородности при фильтрации нефти и воды в угловом распределении температуры в скважине наблюдается инверсия, т.е. переход либо от отрицательных к положительным температурным аномалиям, либо наоборот.

Полученные закономерности поведения температурного поля могут быть полезны при интерпретации данных многодатчиковых измерений температуры в неоднородных по проницаемости пластах.

В четвертой главе рассмотрены результаты промыслово-геофизических исследований в добывающих скважинах для неоднородных пластов большой толщины. Проведен анализ термограмм в скважинах при диагностике состояния пласта, рассмотрены пути практического применения разработанных математических моделей и результаты расчета особенностей формирования температурного поля при фильтрации в неоднородных пластах применительно к термометрии скважин.

Приводятся результаты расчета модельных термограмм и их сравнение с промыслово-геофизическими данными распределения температуры. Использование разработанного симулятора позволяет оценить пластовую температуру на выходе из пласта, что может быть полезным при интерпретации данных оптоволоконных измерений. Проведён анализ практического материала по азимутальному распределению температуры полученного многодатчиковой аппаратурой. Предложен подход азимутального термозондирования и проведена оценка по определению проницаемости призабойной зоны в азимутальных направлениях.

В заключении сформулированы основные результаты.

Актуальность работы. Термометрия является одним из известных геофизических методов исследования скважин, широко используемой при контроле за разработкой нефтегазовых месторождений. В сложных условиях, когда эффективность ГИС становится низкой, этот метод может стать единственным источником информации о физических свойствах пласта и скважины. В последнее

время, основное внимание сконцентрировано на переходе от качественной интерпретации данных термометрии к количественной. При количественной интерпретации используются различные математические модели, описывающие термогидродинамические процессы в системе «скважина-пласт», при этом, в известных работах рассматриваются в основном однородные пласты и не затрагиваются вопросы связанные с особенностями распределения проницаемости в призабойной зоне пласта, что является весьма важным при контроле за разработкой пластов. В реальных условиях пласты представляют собой систему пропластков с различной проницаемостью, при этом в зависимости от особенностей эксплуатации пластов могут формироваться и области радиально-азимутальной неоднородности проницаемости в пределах каждого пропластка.

Таким образом, тема диссертационной работы, направленная на исследование особенностей формирования температурного поля в системе скважина-пласт с учетом силы тяжести и анизотропного распределения проницаемости в призабойной зоне пласта на основе разработанных численных моделей, является актуальной и востребованной на практике.

Научная новизна результатов исследования.

В качестве новых научных результатов диссертантом выдвинуты следующие:

1. Разработана математическая модель и получено численное решение задачи неизотермической нестационарной двумерной однофазной фильтрации при наличии радиально-азимутальной неоднородности проницаемости в пласте с учетом термодинамических эффектов.

2. Разработана математическая модель и получено численное решение задачи о неизотермическом двухфазном нестационарном течении нефти и воды в радиально-слоисто-неоднородном по проницаемости пласте с учетом термодинамических эффектов и гравитационной силы.

3. Наличие радиально-азимутальной неоднородности проницаемости в пласте приводит к немонотонной зависимости температуры от времени на выходе из пласта в области неоднородности от величины угла охвата области неоднородности с низкой проницаемостью.

4. Установлено, что наблюдается различный темп установления температуры в однородной и неоднородной областях (различие по проницаемости) в процессе вытеснения нефти водой. При сниженной проницаемости неоднородной зоны, при вытеснении нефти водой, ранний прорыв воды в более проницаемой зоне (однородная область) приводит к повышенному темпу изменения температуры относительно неоднородной в начальные моменты до прорыва воды, а в дальнейшем наблюдается снижение температуры.

5. Показана возможность определения работающих интервалов в многослойном пласте с возможностью оценки профиля притока с использованием разработанной математической модели для пластов большой толщины.

6. Для оценки размеров неоднородной зоны в азимутальных направлениях предложен подход по обработке данных распределенной по азимуту датчиков температуры на данной глубине по известной методике термозондирования.

Данные результаты соответствуют требованиям специальностей «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Практическая значимость работы.

Результаты исследований температурного поля на основе численных решений систем уравнений разработанных математических моделей, способствуют увеличению эффективности и достоверности термометрических исследований скважин для оценки состояния призабойной зоны пласта. Результаты работы позволяют также более точно определить работающие интервалы в неоднородных по проницаемости пластах.

Разработанная математическая модель неизотермической двухфазной фильтрации в неоднородной по проницаемости пористой среде представляет собой инструмент для оценки профиля притока на основе данных термометрических исследований в добывающих скважинах, работающих в условиях неоднородных пропластков в пластах значительной толщины.

Полученные результаты могут быть внедрены в практику нефтедобывающих компаний, осуществляющих мониторинг разработки нефтегазовых месторождений с использованием температурных измерений.

Степень достоверности результатов исследования.

Достоверность полученных результатов обеспечивается корректностью физической и математической постановки задач, использованием фундаментальных уравнений тепломассопереноса в пористых средах и проверенных численных методов решения задач неизотермической многофазной фильтрации, сравнением полученных результатов с существующими аналитическими и численными решениями с удовлетворительной точностью.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Предложенные в диссертации математические модели и результаты численных исследований могут использоваться в нефтепромысловой практике при интерпретации данных распределения температуры многодатчиковых приборов термометрии, при оценке азимутальной неоднородности проницаемости призабойной зоны. Кроме того, математические модели и полученные результаты можно использовать для изучения термогидродинамических процессов неоднородных пластов в научных подразделениях сервисных и нефтяных компаний, в учебном процессе высших учебных заведений, специализирующихся в нефтегазовой области.

Замечания по диссертационной работе.

1. В четвертой главе для получения исходных данных для дальнейших расчетов по разработанной модели используется температурный симулятор PSim, однако нет информации по данному симулятору PSim.

2. Следует пояснить для чего на практике может быть использован результат расчета температуры флюида на выходе из пласта, полученный разработанным симулятором.

3. В разработанных симуляторах одним из допущений является пренебрежение тепловыми потерями в окружающие горные породы, в связи с этим для каких условий могут быть на практике использованы математические модели.

4. В работе присутствуют ошибки и опечатки. Имеются опечатки в нумерации рисунков (например, после рисунка 2.6 следует рисунок 3.5, после 2.2 следует рисунок 2.4).

Указанные замечания не ставят под сомнение высокое качество работы и высокую научную ценность ее результатов.

Заключение.

Основные результаты научно-квалификационной работы опубликованы в 8 печатных работах, в том числе в 3 работах в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, установленный Министерством образования и науки Российской Федерации для представления результатов кандидатских диссертации, и в них достаточно полно отражены основные результаты диссертационной работы.

Диссертационная работа Сулеймановой М.Д. является законченным научным исследованием, в котором решена прикладная задача в области теплофизики имеющая научную и практическую ценность. Результаты работы могут быть использованы в геофизических и нефтедобывающих предприятиях. Представленные в работе исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы. Основные результаты опубликованы в открытой печати в ведущих отечественных журналах.

Работа содержит достаточное количество пояснений, рисунков, графики, подробные расчеты. По каждой главе и работе в целом имеются выводы. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертационная работа Сулеймановой Малики Джалилевы по актуальности, научной новизне, научной и практической значимости соответствует требованиям пунктов 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор **Сулейманова Малика Джалилевна заслуживает присуждения ученой**

степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.14.
Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Отзыв на диссертацию подготовлен на основании положительного заключения совместного семинара кафедр «Физика» и «Промышленная теплоэнергетика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (протокол №4 от 19.11.2024 г.).

Отзыв подготовили:

Доцент кафедры физики ФГБОУ ВО «УГНТУ»,
к ф.-м. н.

М.В. Столповский

Зав. каф. «Промышленная теплоэнергетика», ФГБОУ ВО «УГНТУ»
Проф., д.т.н.

С.В. Китаев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (ФГБОУ ВО «УГНТУ»)

Адрес: 450064, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1

Тел.: +7(347)243-19-77

Эл. почта: info@rusoil.net

Сайт: <https://ugntu.ru/>

Личные подписи М.В Столповского и С.В. Китаева заверяю

Начальник ОРП



О.А. Дадаян

26.11.2024